

**LE TRAITEMENT DES COMBUSTIBLES IRRADIES**  
**PAR LES HALOGENES ET LEURS COMPOSES**

par

Michel BOURGEOIS, Pierre FAUGERAS

**Rapport CEA - R 2667**

Genève 1964, A Conf. 28/P/ 66

**1964**  
Ba

CEA-R 2667 - BOURGEOIS Michel, FAUGERAS Pierre,

LE TRAITEMENT DES COMBUSTIBLES IRRADIES PAR LES HALOGENES ET LEURS COMPOSES.

Sommaire. -

On rappelle brièvement les expérimentations qui nous ont permis de décider du procédé adopté : volatilisation des fluorures par attaque en phase gazeuse.

On décrit le processus chimique pour certains types courants de combustibles gainés . dans un premier stade, l'aluminium ou le zirconium est volatilisé sous forme de chlorure par action de l'acide chlorhydrique. Ensuite, l'uranium est transformé en hexafluorure volatil par action du fluor. Ces opérations se font successivement dans un même réacteur, en présence d'un lit fluidisé d'alumine qui a pour but de faciliter les échanges thermiques.

L'expérimentation a été conduite sur des quantités allant de 100 g à plusieurs kg de combustibles, en inactif, puis avec des traceurs. ./.

---

CEA-R 2667 - BOURGEOIS Michel, FAUGERAS Pierre,

THE REPROCESSING OF IRRADIATED FUELS BY HALIDES AND THEIR COMPOUNDS.

Summary. -

A brief description is given of the experiments leading to the choice of the process : volatilization of fluorides by gas phase attack.

The chemical process is described for certain current types of clad fuels . the aluminium or the zirconium cladding is first volatilized as chloride by attack with gaseous hydrogen chloride. The uranium is then transformed into volatile hexafluoride by attack with fluorine. These reactions are carried out consecutively in the same reactor in the presence of a fluidized bed of alumina which facilitates heat exchange.

The experiments have been carried out in quantities from 100 gms to several kilograms of fuel, first without activity, and then with tracers. ./.

On décrit les études de laboratoire menées parallèlement sur la séparation des fluorures d'uranium et de plutonium.

Enfin, on décrit une installation en construction destinée à expérimenter le procédé sur combustible irradié, à l'échelle de plusieurs milliers de curies de produits de fission.

1964 - Commissariat à l'Energie Atomique - France

16 p.

---

A description is given of the laboratory research which was carried out simultaneously on the separation of uranium and plutonium fluorides.

Finally, an apparatus is described which is intended to test the process on irradiated fuel at an activity level of several thousands of curies of fission products.

1964 - Commissariat à l'Energie Atomique - France

16 p.

*Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

*The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, . PARIS VIIIème.*

# LE TRAITEMENT DES COMBUSTIBLES IRRADIES PAR LES HALOGENES ET LEURS COMPOSES

par

Michel BOURGEOIS et Pierre FAUGERAS

Commissariat à l'Energie Atomique

## I. - INTRODUCTION.

Les méthodes chimiques de traitement des combustibles irradiés par les halogènes et leurs composés sont basées sur les différences des propriétés physiques et chimiques des halogénures des éléments constituant le combustible irradié (principalement leur tension de vapeur comme le montre la figure 1).

La forme iodure a été envisagée, et la forme bromure laissée de côté ; l'utilisation des chlorures est étudiée à l'étranger (notamment à MOL et à KARLSRUHE). Mais les travaux les plus importants et les réalisations les plus avancées se limitent au domaine des fluorures.

Malgré un prix de revient plus élevé, le choix de l'hexafluorure d'uranium comme état sous lequel se fait la purification, a été dicté par sa stabilité et sa facilité de transformation et de manipulation sous forme solide, liquide ou gazeuse. En revanche, le caractère très exothermique des réactions et l'analogie des propriétés de l'uranium et du plutonium ne sont pas sans poser de délicats problèmes.

### I. 1. Exothermicité des réactions.

L'évacuation des calories produites peut être facilitée en opérant soit dans un milieu liquide, soit en phase gazeuse dans un lit fluidisé de particules solides inertes chimiquement.

Dans les deux précédentes conférences de Genève, les procédés de volatilisation des fluorures décrits utilisaient un milieu liquide constitué soit

par les fluorures d'halogène (trifluorure de brome à ARGONNE et BROOKHAVEN, trifluorure de chlore - acide fluorhydrique à OAK RIDGE), soit par un bain de fluorures fondus (ARGONNE et OAK RIDGE). Actuellement, à notre connaissance, seul le procédé aux sels fondus d'OAK RIDGE reste étudié sur des combustibles irradiés. Il faut toutefois noter le développement aux laboratoires de BROOKHAVEN d'un nouveau procédé en phase liquide utilisant des mélanges tels que oxydes d'azote - acide fluorhydrique.

Par contre, les procédés en phase gazeuse connaissent depuis 1959 un grand développement grâce à l'utilisation des lits fluidisés qui permettent un meilleur contrôle des réactions gaz-solide très exothermiques. Cette technique par fluidisation, née dans les laboratoires de BROOKHAVEN [1] fait actuellement l'objet d'importantes études notamment dans les laboratoires d'ARGONNE, BROOKHAVEN et MOL et à FONTENAY-AUX-ROSES.

## I. 2. Séparation uranium-plutonium.

Il est possible d'obtenir une séparation uranium-plutonium en opérant une fluoruration sélective de l'uranium en hexafluorure volatil, le plutonium ne dépassant pas le stade de tétrafluorure non volatil. C'est ce qui se produit dans les procédés en phase liquide utilisant les fluorures d'halogène. En phase gazeuse, il faut faire appel à des réactifs modérés tels que le trifluorure de brome ou le tétrafluorure de soufre. Il reste ensuite, dans une deuxième étape, à séparer le plutonium des fluorures de produits de fission non volatils qui l'accompagnent, par exemple par action d'agents fluorants plus énergiques, comme le fluor ou le pentafluorure de brome qui transforment le tétrafluorure de plutonium en hexafluorure de plutonium volatil.

Dans le cas de formation simultanée d'hexafluorures d'uranium et de plutonium, il convient d'en faire la séparation. Les hexafluorures d'uranium et de plutonium ont des courbes de tension de vapeur voisines. L'instabilité de l'hexafluorure de plutonium, de plus, complique leur séparation par distillation. Plus séduisante apparaît la séparation du plutonium par réduction sélective de son hexafluorure en tétrafluorure solide. Cette réduction, qui doit laisser intacts les autres fluorures volatils, peut être réalisée soit par décomposition thermique, soit par réaction chimique avec un agent comme le tétrafluorure de soufre, le brome, les fréons.

La décontamination de l'hexafluorure d'uranium, et c'est là la raison d'être de ces procédés, peut être efficacement réalisée par distillation ou par

absorption-désorption sur fluorure de sodium, ou en combinant ces deux techniques.

En France, les études de volatilisation ont débuté en 1957 par la préparation de l'hexafluorure de plutonium et l'étude du procédé en sels fondus. La corrosion excessive due à ce milieu nous a conduits en 1959 à orienter plutôt nos recherches vers les procédés utilisant les fluorures d'halogène et vers les réactions en phase gazeuse.

L'étude des procédés en phase liquide a été poursuivie en collaboration avec la Société d'Electrochimie d'Ugine. Très vite, le trifluorure de brome a été écarté à cause du danger d'emballement de la réaction, au profit du milieu trifluorure de chlore - acide fluorhydrique. Une installation pilote à l'échelle du kilogramme a très bien fonctionné sur matériaux inactifs. [2] [3].

Malgré les résultats encourageants obtenus, l'étude a été arrêtée en 1962 au profit du procédé en phase gazeuse, qui semble plus universel et moins dangereux.

Les combustibles envisagés dans ces études sont les suivants :

alliage uranium-zirconium gainé Zircaloy ; alliage uranium-aluminium gainé aluminium ; alliage uranium-molybdène gainé aluminium ; céramiques  $UO_2 - PuO_2$ .

## II. - ALLIAGES URANIUM - ZIRCONIUM ET ALLIAGES URANIUM-ALUMINIUM

[3][4]

### II. 1. Principe

Le traitement comporte les opérations suivantes :

a) Attaque par l'acide chlorhydrique anhydre à 300 - 400 °C. Le zirconium ou l'aluminium est transformé en chlorure volatil, l'uranium en trichlorure peu volatil.

b) Action du fluor sur le résidu, transformant notamment le trichlorure d'uranium en hexafluorure volatil. Cette étape peut être précédée d'un passage d'acide fluorhydrique donnant du tétrafluorure d'uranium et chassant le chlore.

c) Purification de l'hexafluorure d'uranium par distillation ou par absorption-désorption sur fluorure de sodium.

Les études des réactions chimiques et des conditions opératoires, commencées à l'échelle laboratoire, se sont poursuivies d'abord à l'échelle

semi-industrielle dans un réacteur à lit fluidisé de 100 mm de diamètre, puis à l'échelle industrielle dans un réacteur de 200 mm de diamètre. Cette dernière étape correspond à une installation prévue pour la récupération d'uranium des déchets de fabrication d'éléments combustibles.

## II. 2. Etudes à l'échelle laboratoire et semi-industrielle.

Les essais ont été conduits sur des tournures d'alliage uranium-zirconium à 6 % d'uranium et sur des plaques de ce même alliage gainé de Zircaloy 2, dans un réacteur à lit fluidisé, à l'échelle de 1 kg d'alliage. Ils ont permis de préciser les meilleures conditions chimiques et les résultats auxquels il fallait s'attendre à plus grande échelle.

- La vitesse de chloruration suivie à l'aide du dégagement d'hydrogène est plus sensible à l'action du débit d'acide chlorhydrique qu'à l'action de la température. La vitesse d'attaque maximum observée a été d'environ 1 kg d'alliage par heure avec un rendement de 80 % en acide. La perte minimum en uranium entraîné avec le tétrachlorure de zirconium est environ 0,1 % (60 ppm dans le tétrachlorure de zirconium).

- La fluoration s'effectue avec un mauvais rendement en fluor, étant données les faibles quantités d'uranium présentes. Après deux à trois heures de réaction, l'alumine du lit fluidisé retient 500 à 700 ppm d'uranium. Cette valeur n'augmente pas après une série de plusieurs cycles de réaction.

## II. 3. Etudes à l'échelle industrielle.

L'installation a été réalisée et exploitée par les Etablissements Kuhlmann à l'usine de Brignoud (Isère) dans le cadre d'un contrat avec le Service de Chimie de la Direction des Matériaux et Combustibles Nucléaires.

### II. 3. 1. Appareillage.

L'appareillage utilisé diffère peu de l'installation semi-industrielle qui lui a servi de modèle (fig. 2). Le réacteur proprement dit de 200 mm de diamètre et de 1,60 m de hauteur est rempli de 50 kg de corindon "70 fils" constituant le lit, supporté par 3 kg de corindon "20 fils". Les gaz sont filtrés par passage de haut en bas sur le lit statique de 14 kg de corindon "70 fils", soit 20 cm de couche filtrante reposant sur 3 kg de corindon "20 fils". Le filtre peut être extérieur ou mieux intérieur au réacteur. L'hexafluorure d'uranium est récupéré dans les pièges refroidis à -60 °C à partir des colonnes à fluorure de sodium chauffées à 400 °C. Le fluor en excès est brûlé dans une tour à charbon.



### II. 3. 2. Essais avec des alliages uranium-zirconium.

- Chloruration : elle s'opère à 400 °C avec un débit d'acide chlorhydrique pur de 3,5 à 4 m<sup>3</sup>/h. L'introduction de l'alliage se fait par charges de 5 à 10 kg, en morceaux massifs ou en déchets comprimés. Les vitesses de combustion sont de 1,5 kg/h. En chargement continu, une vitesse de 2,5 à 3 kg/h peut être facilement obtenue. Les rendements d'utilisation de l'acide chlorhydrique varient de 30 à 50 %. Une partie du trichlorure d'uranium est entraînée sur le filtre : après plusieurs chlorurations successives, on a retrouvé environ un quart de l'uranium sur le filtre, maintenu également à 400 °C. Les pertes par entraînement à travers le filtre avec le tétrachlorure de zirconium sont inférieures à 0,2 %. Le rendement de récupération du tétrachlorure de zirconium est d'environ 98 %.

- Fluoruration : on effectue, en général, plusieurs chlorurations successives (jusqu'à 15) pour accumuler l'uranium dans le réacteur. Après un balayage de longue durée à l'azote, on fait passer le fluor sur le lit de fluidisation et sur le filtre à 200 - 300 °C avec un débit voisin de 500 l/h (inférieur au débit minimum de fluidisation). Le lit est fluidisé de temps en temps à l'azote pour homogénéiser et éviter les passages préférentiels. Le rendement en fluor peut atteindre 50 %. La quantité d'uranium restant dans le lit est en général de 25 à 30 grammes, correspondant à une teneur de 500 à 600 ppm par rapport à l'alumine.

### II. 3. 3 Essais avec des alliages uranium-aluminium.

Les opérations sont identiques mais il est avantageux de faire la chloruration à plus basse température (300 °C). Les résultats obtenus sont sensiblement voisins de ceux du traitement des alliages uranium-zirconium.

## IV. - TRAITEMENT DES ALLIAGES URANIUM-MOLYBDENE GAINES ALUMINIUM.

Le procédé, comme dans le cas des alliages uranium-zirconium, comporte plusieurs étapes de volatilisation [3][5].

- 1° - Dégainage par action de l'acide chlorhydrique. L'aluminium est éliminé sous forme de trichlorure volatil.
- 2° - Conversion de l'alliage en produits intermédiaires, soit par un mélange acide chlorhydrique-oxygène, l'uranium étant transformé en oxydes et le

molybdène en oxychlorure volatil ; soit par un mélange acide fluorhydrique - oxygène, l'uranium étant transformé en un mélange d'oxydes, de tétrafluorure et d'oxyfluorure, et le molybdène en oxyfluorure volatil.

- 3° - Attaque des résidus obtenus par le fluor et volatilisation du plutonium, de l'uranium et du molybdène résiduaire sous forme d'hexafluorures.
- 4° - Séparation du plutonium des fluorures volatils par réduction sélective.
- 5° - Décontamination de l'uranium et séparation des hexafluorures d'uranium et de molybdène par distillation.

Les études à l'échelle laboratoire de la deuxième étape du procédé ont fait l'objet d'une communication au XXXIIème Congrès de Chimie Industrielle [6]. Nous avons également examiné les réactions des mélanges acide fluorhydrique - oxygène sur les alliages uranium-molybdène en lit fluidisé de corindon, à l'échelle de 100 grammes. L'élimination du molybdène lors de cette étape n'ayant jamais dépassé 90 %, nous avons simplifié le procédé en opérant l'attaque directe de l'alliage par le fluor après le dégainage.

#### IV. 1. Etude à l'échelle de 100 grammes.

Elle a pour but de déterminer les vitesses de réaction du fluor sur les alliages uranium-molybdène en fonction de la température et de la concentration du fluor dans l'azote.

L'appareillage est schématisé figure 3. Il comprend essentiellement un réacteur à lit fluidisé de 30 mm de diamètre, deux colonnes de cristallisation d'hexafluorures refroidis à - 80 °C par passage d'azote froid.

On constate que la vitesse de réaction augmente avec la concentration du fluor dans les gaz et que cette augmentation est beaucoup plus rapide à 400 ° qu'à 300 °C (fig. 4). A 300 °C, la pénétration moyenne estimée de l'uranium-molybdène à 10 % de molybdène varie de 0,3 à 0,6 mm/h lorsque la concentration du fluor passe de 10 à 60 %, alors qu'à 400 °C elle varie de 0,5 à plus de 2 mm/h quand la concentration du fluor passe de 30 à 50 %. Les rendements d'utilisation du fluor sont faibles (10 à 25 %).

#### IV. 2. Etude à l'échelle semi-industrielle.

La figure 5 représente l'installation dont les photographies (figures 6 et 7) donnent une vue d'ensemble.

##### IV. 2. 1. Appareillage et réacteur :

Il est en monel et comporte un cylindre ( $\emptyset$  100 mm - hauteur

400 mm) surmonté d'un vase d'expansion ( $\phi$  150 mm, hauteur 400 mm). Ces deux parties sont chauffées indépendamment par résistances blindées thermocoax. La partie inférieure est munie d'ailettes hélicoïdales et d'une double enveloppe pour le refroidissement par air comprimé. Pour les premiers essais, nous disposions d'une grille de fluidisation. Afin de permettre la vidange du lit par gravité, celle-ci a été remplacée par des billes de nickel de 6 à 8 mm de diamètre, reposant elles-mêmes sur une couche de corindon "12 fils". Le lit est constitué par 5,5 kg de corindon "70 fils".

- Filtres : La filtration des gaz a été effectuée successivement sur des bougies en reps de nickel, puis sur des bougies remplies de corindon, et actuellement sur lit statique de corindon placé dans une colonne de 100 mm de diamètre et de 1 mètre de haut. La composition de ce lit est de bas en haut la suivante : 2 cm de billes de nickel, 3 cm de corindon "12 fils", 10 cm de corindon "24 fils", 45 cm de corindon "12 fils".

- Colonnes de piégeage : Le trichlorure d'aluminium et des hexafluorures d'uranium et de molybdène sont piégés respectivement dans deux colonnes refroidies intérieurement par des ailettes verticales et horizontales soudées sur des tubes dans lesquels circulent le fluide réfrigérant (eau pour le trichlorure d'aluminium ; azote froid pour les fluorures). Les produits sont recueillis sous forme liquide dans des pots refroidis.

- Events : L'acide chlorhydrique en excès est absorbé dans une colonne à aspersion de lessive de soude. Le fluor après être débarrassé des dernières traces de fluorures par passage sur colonne à fluorure de sodium, est absorbé sur une colonne d'alumine activée.

#### IV. 2. 2. Essais et résultats.

Les essais ont lieu sur des barreaux type EL.3 à 2 où 10 % de molybdène gainés d'aluminium. Le poids du barreau est environ 1,8 kg dont 0,15 kg de gaine environ.

Le dégainage dure environ 2 heures avec un débit de 600 à 1000 l/h d'acide chlorhydrique pur à 300 - 400 °C. On constate une attaque superficielle du barreau. Le rendement d'utilisation de l'acide chlorhydrique est de l'ordre de 15 à 20 %. Le trichlorure d'aluminium est récupéré à environ 70 %. Les pertes en uranium par entraînement avec le trichlorure d'aluminium sont faibles (0,1 %).

La fluoruration dure de 4 à 5 heures à des températures de 350 à 450 °C. L'attaque se fait avec un débit gazeux total supérieur à 2 m<sup>3</sup>/h. On enrichit progressivement le mélange en fluor jusqu'à 30 % environ. Lorsque l'attaque est terminée, on diminue progressivement le débit d'azote jusqu'à zéro. Il faut éviter toute élévation brusque de la température qui pourrait conduire à la formation d'agglomérats de corindon et de trifluorure d'aluminium. La zone délicate de la réaction est la partie inférieure du barreau. La rétention de l'uranium dans le lit est de l'ordre de 200 à 500 ppm dans le corindon. Le rendement de récupération de l'uranium est de 90 à 98 %. Le rendement d'utilisation du fluor est faible (10 à 20 %).

## V. - ETUDE DU PLUTONIUM.

### V. 1. Comportement à la fluoruration.

Cette étude est effectuée dans un appareillage analogue à celui représenté sur la figure 3.

### V. 2. Etude de la séparation des hexafluorures d'uranium et de plutonium.

Cette étude est menée sur deux plans :

- a) Recherche d'un corps susceptible de réduire l'hexafluorure de plutonium, et inerte vis-à-vis des fluorures volatils d'uranium, de niobium, de ruthénium, de tellure, d'iode, etc...
- b) Détermination des vitesses de réduction de l'hexafluorure de plutonium par ce réducteur.

La première partie est étudiée par le Centre de Recherches de Lyon de la Société d'Electrochimie d'Ugine. Parmi les composés étudiés (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, fréons), les plus sélectifs sont actuellement les fréons.

## VI. - PROJET D'INSTALLATION PILOTE SUR MATERIAUX IRRADIES [3]

Une installation de traitement des combustibles irradiés en lit fluidisé est en projet de construction au Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, avec la collaboration de la Société d'Electrochimie d'Ugine. Cet ensemble est destiné à l'étude (à l'échelle de quelques kg) du traitement de différents types de combustibles : uranium-zirconium ; uranium-aluminium, etc... Cette installation doit comporter deux cellules :

- une cellule principale, protégée  $\alpha$  et  $\gamma$ , abritant les appareils susceptibles de contenir les produits actifs (figure 8),

- une cellule annexe destinée à la distillation et au traitement des effluents.

1° - La cellule principale est constituée d'une enceinte étanche  $\alpha$  ventilée de 9,50 m de long, 4 m de large, et 4,60 m de haut, protégée par des blocs superposables de béton baryté (épaisseur 85 cm).

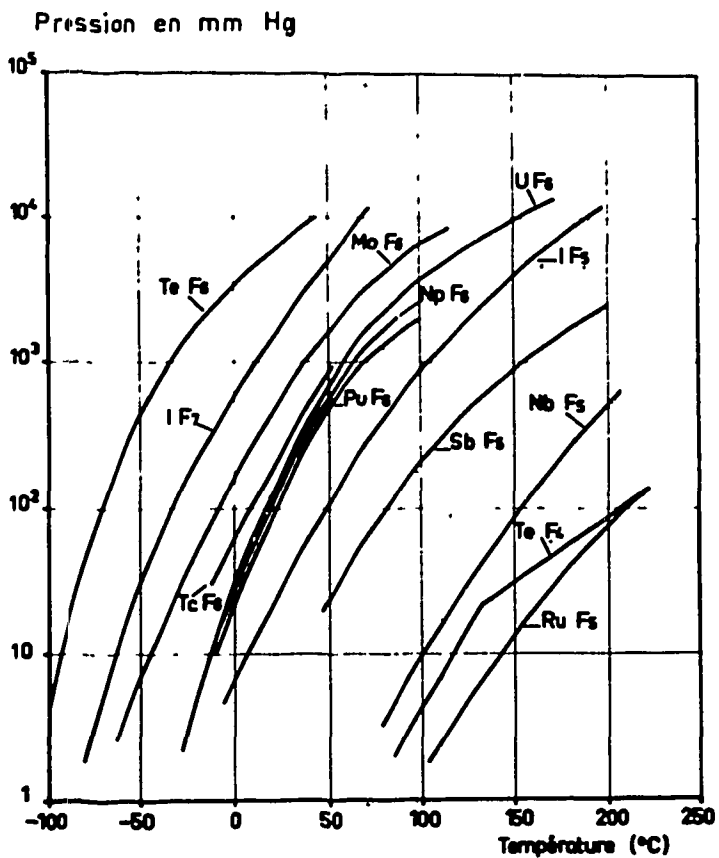
Dans cette cellule prendront place le réacteur à lit fluidisé, le filtre à lit statique, les cristallisoirs et électrofiltres destinés au recueil du chlorure d'aluminium et des fluorures volatils, la pompe de recyclage du fluor et le système de séparation du plutonium. Les appareils sont disposés sur deux lignes de part et d'autre d'une ossature support placée au milieu de la cellule. Tous les appareils sont prévus démontables à l'aide d'un télémanipulateur lourd et d'un pont roulant de 500 kg. Les photographies 9 et 10 représentent la maquette de la cellule principale.

2° - Dans la cellule annexe s'effectueront la distillation de l'hexafluorure d'uranium, l'adsorption de l'acide chlorhydrique sur charbon actif (désorbé ensuite sur une colonne de lavage à lessive de soude) et la réaction du fluor sur charbon, puis sur alumine activée.

Des analyses en ligne sont prévues par chromatographie en phase gazeuse et par comptage  $\alpha$  et  $\gamma$  [7]. Les appareils seront placés dans des boîtes à gants logées sous la cellule principale.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] REILLY J. J. - REGAN W.H. - WIRSING E. - HATCH L. P.  
Reprocessing of reactor fuels by volatilization through the use of inert fluidized beds - B.N.L. 663 (T - 217)
- [2] BOURGEOIS M.  
B. I. S. T. N° 66 - novembre 1962 - p. 65
- [3] FAUGERAS P. - BOURGEOIS M.  
Symposium de Bruxelles 1963 - ENEA-EUROCHEMIC - p. 397
- [4] BOURGEOIS M. - NOLLET P.  
Etude du Traitement Chimique des Combustibles U-Zr par voie sèche.  
(Rapport CEA-R 2508)
- [5] BOURGEOIS M. - FAUGERAS P.  
Brevet PV. 834.863 du 3 août 1960
- [6] FAUGERAS P. - BOURGEOIS M.  
XXXIIème Congrès International de Chimie Industrielle - Barcelone oct. 1960
- [7] FAUGERAS P. - BOURGEOIS M. - BERARD Ph. - MANEVY G. -  
MARLIN H. - STRATAKIS J.  
Colloque sur l'Instrumentation dans les Usines de Traitement des  
Combustibles Irradiés - PARIS - 22.23 Novembre 1963.



Courbes de tension de vapeur de différents fluorures.

Fig. 1

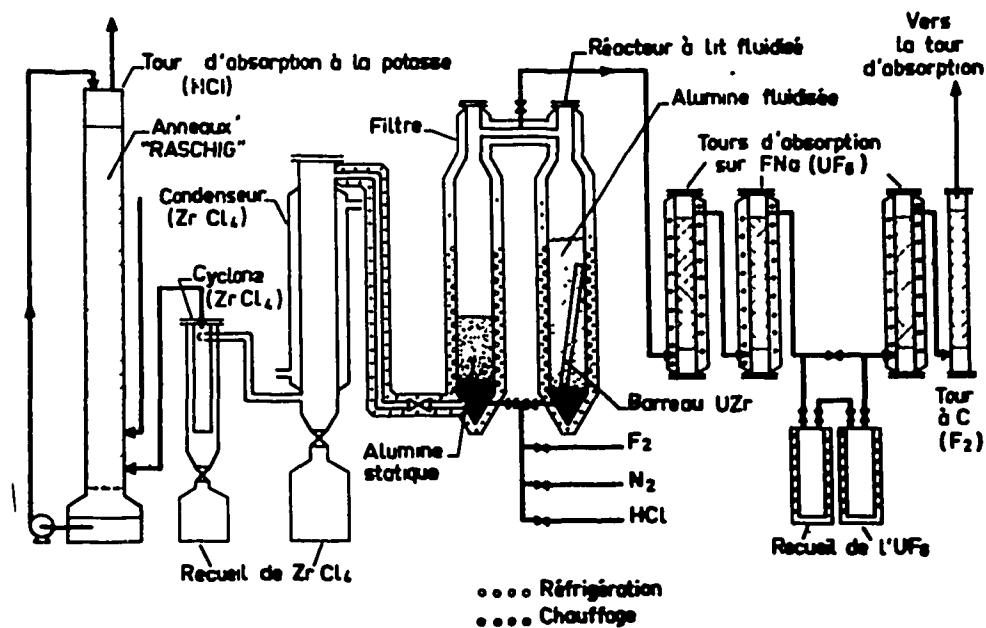


Fig. 2.. Schéma de l'installation pilote de traitement de UZr (10 kg/j).

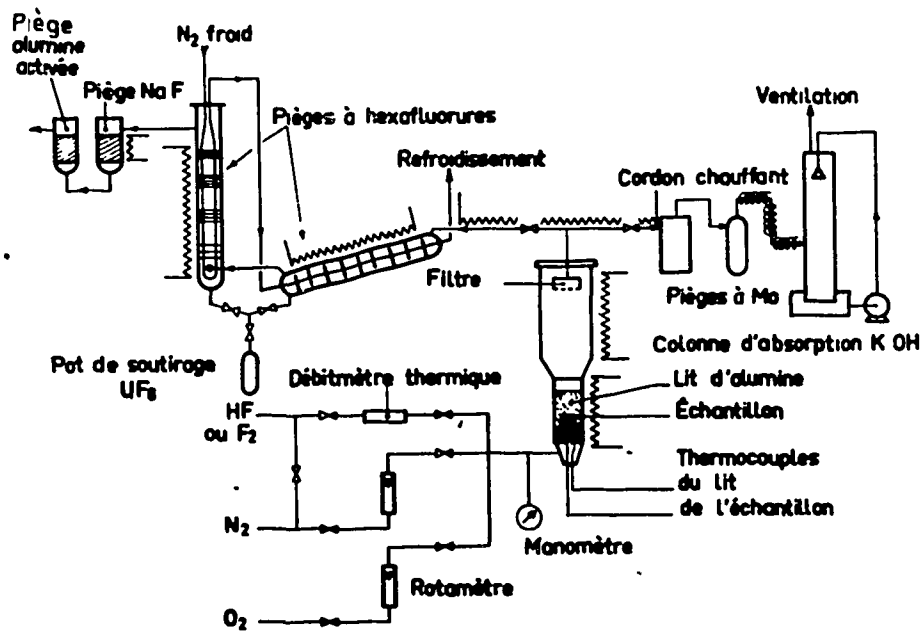


Schéma de l'appareillage destiné aux études à l'échelle 100 g.

Fig. 3

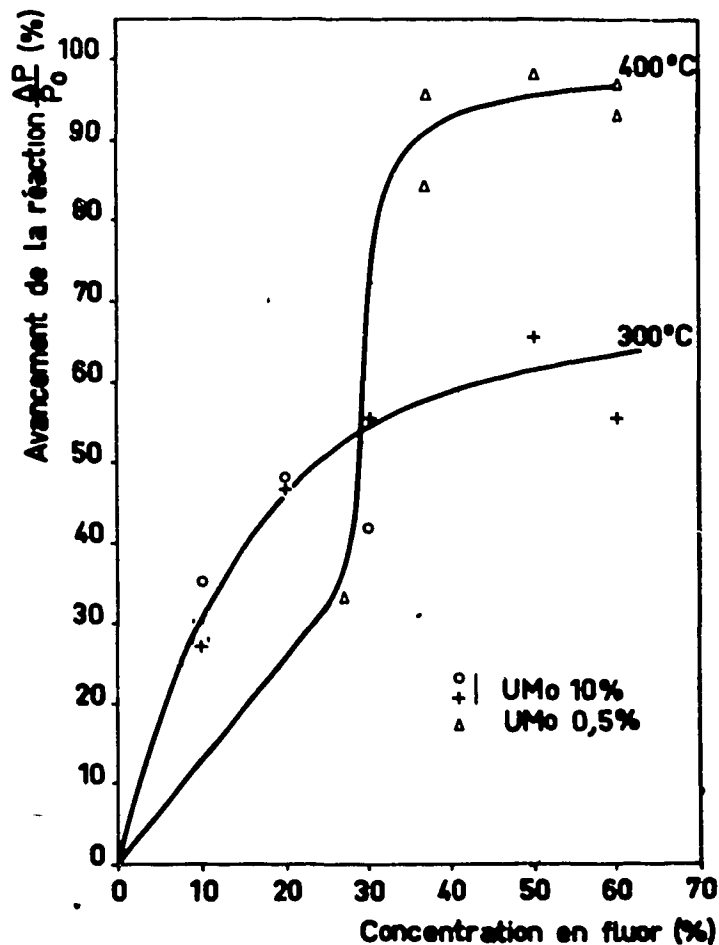


Fig. 4.. Attaques d'alliage UMo par le fluor dilué. Influence de la concentration et de la température

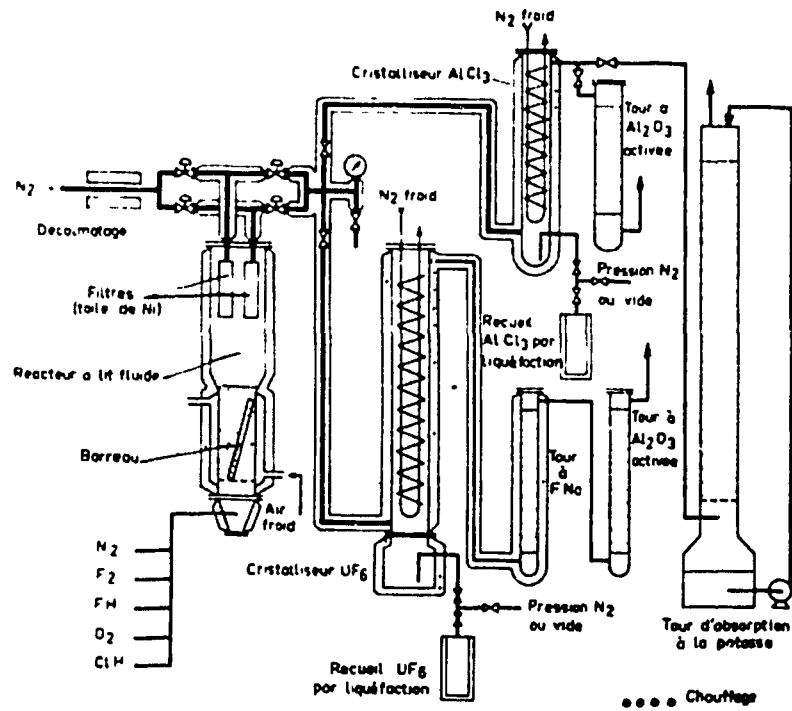


Fig 5 - Schéma de l'installation de traitement des alliages UMo (Echelle 1 barreau EL<sub>3</sub>).

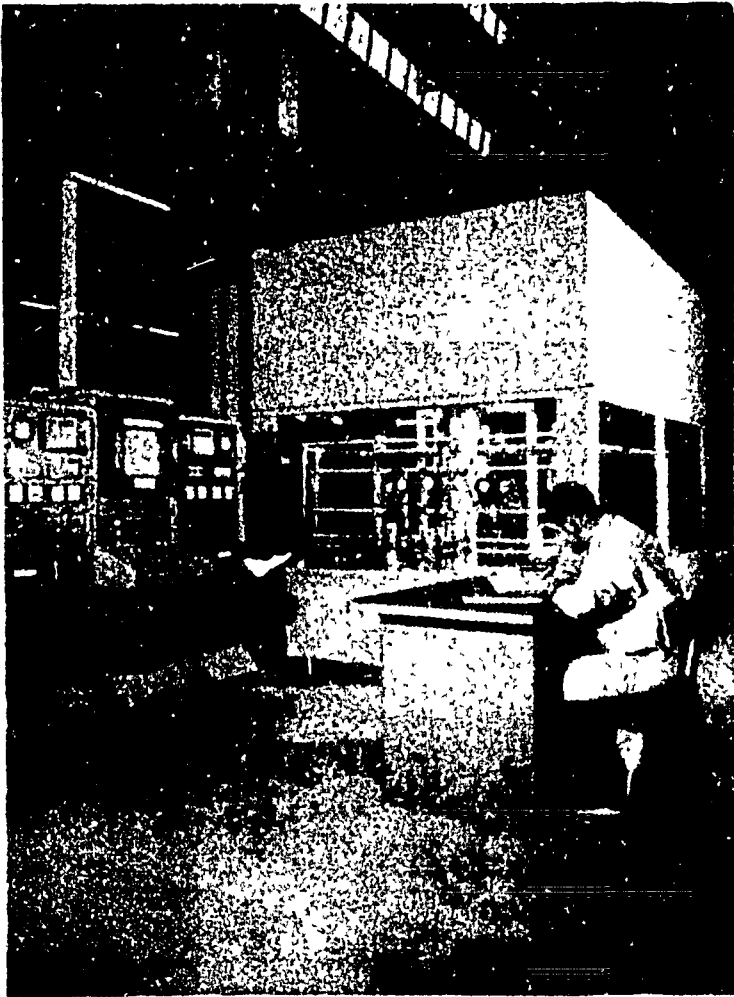


Fig 6 - Vue de l'ensemble expérimental de traitement des alliages UMo.

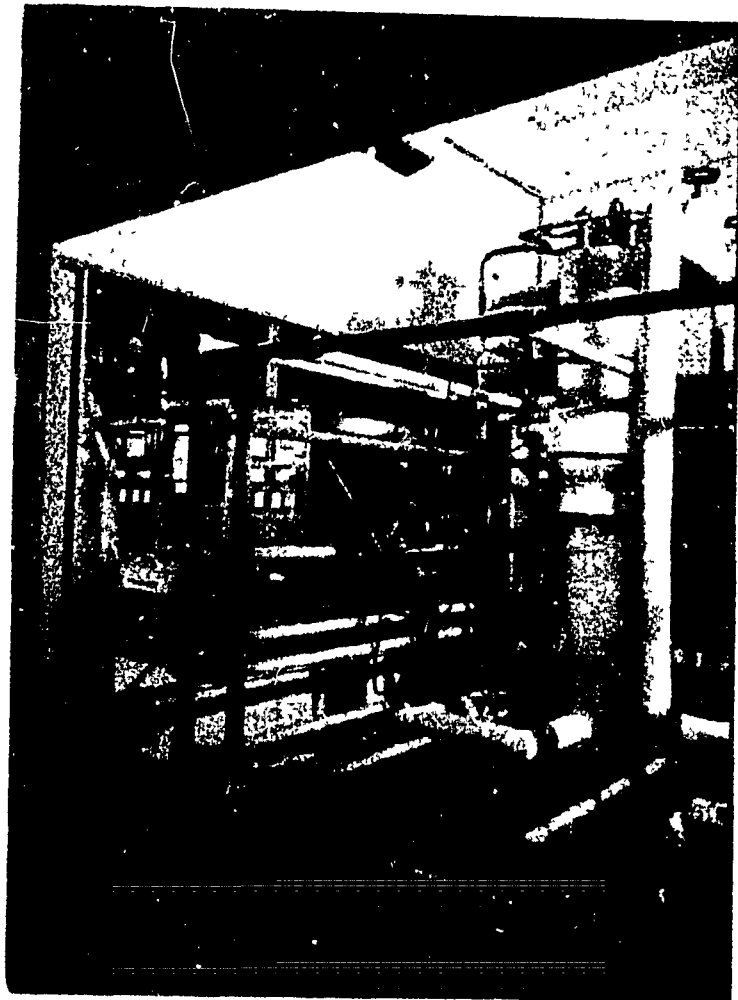


Fig 7 - Ensemble expérimental de traitement des alliages UMo. - Vue du réacteur -



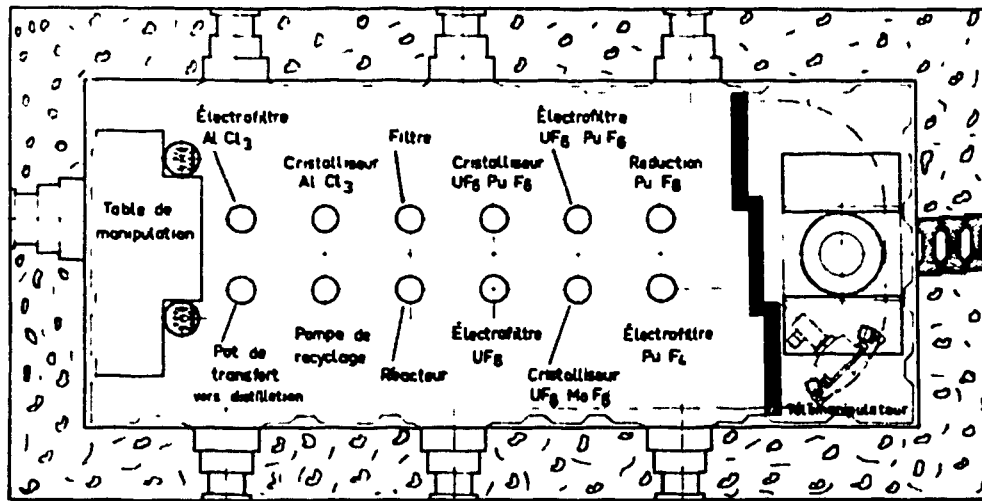


Fig. 8. - Installation pilote sur matériaux irradiés.  
 - Plan de la cellule principale -

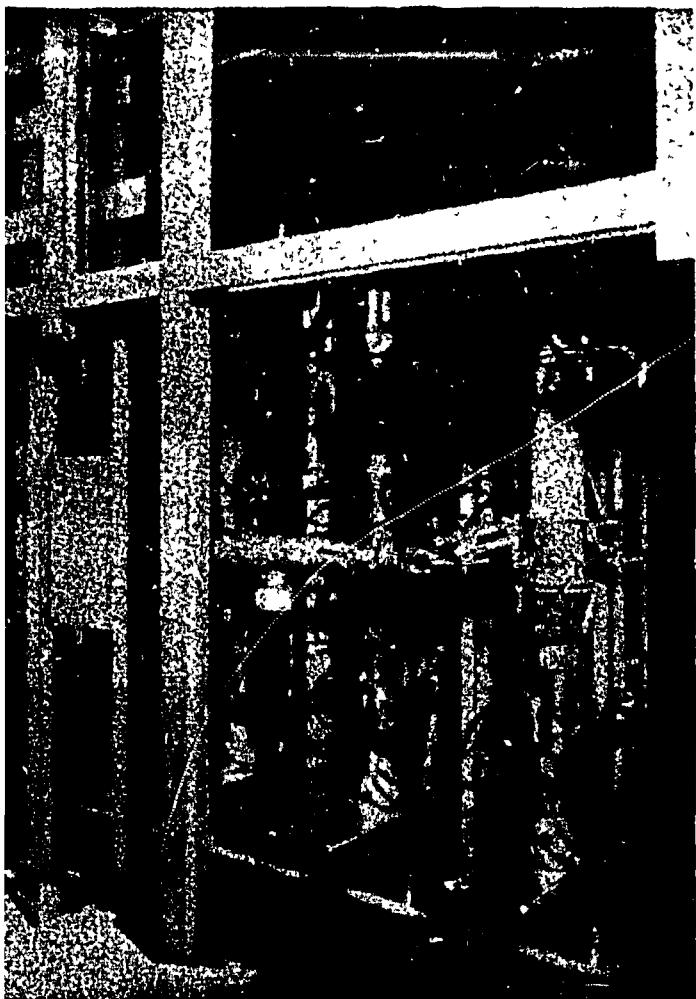


Fig. 10. - Maquette de la cellule principale.  
 - Vue d'une partie de l'appareillage -

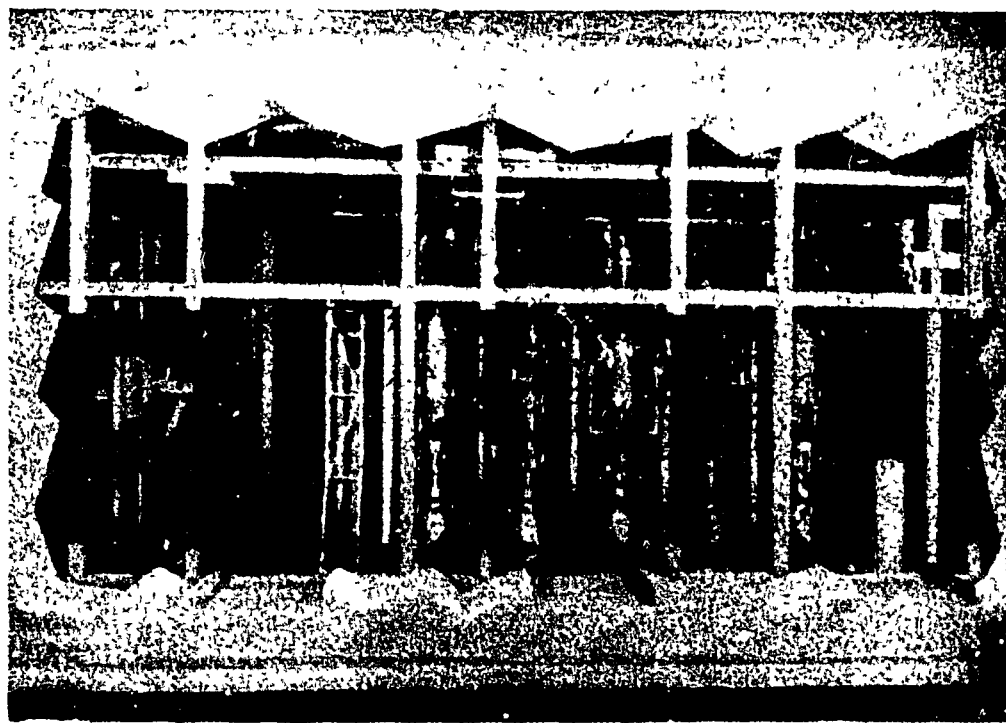


Fig. 9. - Installation pilote sur matériaux irradiés.  
 - Maquette de la cellule principale -

**FIN**